

# Микроконтроллеры семейства STM32F3xx компании STMicroelectronics:

## от управления электроприводами до обработки звука

В 2012 году компания STMicroelectronics, которая широко известна благодаря своим микроконтроллерам STM32F1xx и STM32F2xx, имеющим наивысшую производительность среди аналогичных устройств с ядром Cortex-M3, начала выпуск микроконтроллеров с ядром Cortex-M4. Первым было выпущено семейство STM32F4xx общего назначения, а в конце прошлого года появилось семейство STM32F3xx. Оно, несмотря на меньшую производительность, обладает рядом периферийных модулей с поистине уникальными характеристиками, что делает семейство STM32F3xx привлекательным как для разработчиков узлов промышленной автоматики, так и для специалистов в области обработки звука и распознавания речи.

Андрей САМОДЕЛОВ

### Введение

Семейство STM32F3 объединяет 32-разрядные микроконтроллеры с ядром ARM Cortex-M4, блоками DSP и FPU, рабочей частотой 72 МГц и расширенным набором аналоговых периферийных модулей для достижения большей гибкости при обработке различных сигналов. Это семейство радикально меняет принципы разработки встраиваемых DSC, объединяя ядро Cortex-M4 с быстрым 12-разрядным 5 MSPS и прецизионным

16-разрядным  $\Sigma\Delta$ -АЦП, усилителями с программируемым коэффициентом усиления (четыре значения  $K_u$ , 1%-ная точность), быстрые 50-нс компараторы и универсальные блоки управления временем (таймеры), работающие на частоте 144 МГц и обеспечивающие оптимальную интеграцию.

Микроконтроллеры имеют уникальную системную архитектуру (рис. 1), в состав которой входит матрица шин и ряд мостов между высокоскоростными (системными) и низкоскоростными (периферийными) ши-

нами. Такая системная архитектура позволяет организовывать несколько одновременных потоков данных между системными и периферийными блоками, что приводит к существенному повышению производительности.

Микроконтроллеры STM32F30x и STM32F37x имеют напряжение питания 2–3,6 В. Недавно начал выпуск микросхем STM32F31x и STM32F38x с напряжением питания 1,65–1,95 В. В сводной таблице 1 представлены параметры всех микросхем семейства STM32F3.

Микроконтроллеры STM32F3 позволяют разработчикам создавать приложения для эффективной обработки смешанных сигналов в таких приложениях, как управление 3-фазными электродвигателями, биометрия и обработка сигналов с промышленных датчиков или фильтрация аудиосигналов. Они помогают упростить разработку, уменьшить энергопотребление и размер печатных плат в бытовых, медицинских и измерительных приборах, устройствах для фитнеса и системах мониторинга.

Совместимое по выводам с семейством STM32F1, новое семейство STM32F3 расширяет портфолио микроконтроллеров STM32 с ядром Cortex-M4, которое в настоящее время состоит из микроконтроллеров начального уровня F3 и высокопроизводительных микроконтроллеров F4.

В семейство STM32F3 входят микроконтроллеры с 64–256 кбайт Flash-памяти и до 48 кбайт SRAM, с корпусами WLCSP66

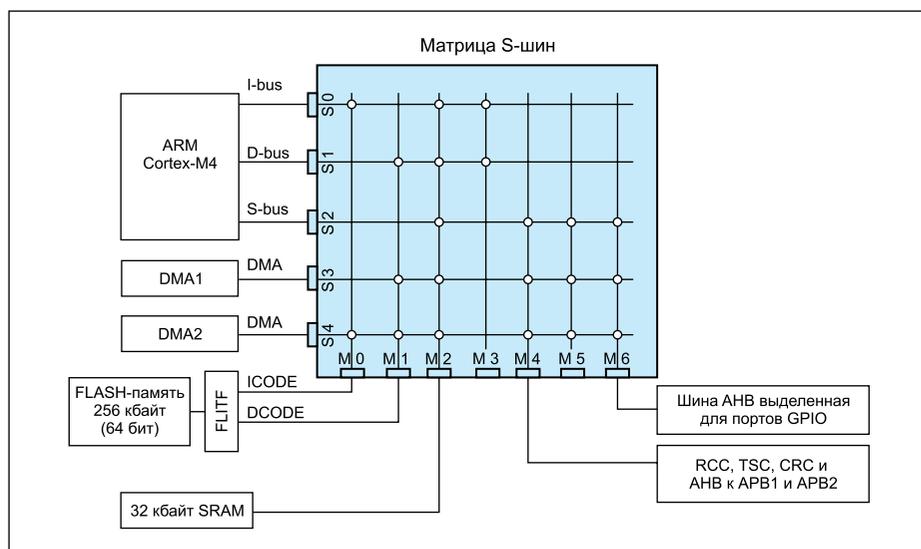


Рис. 1. Системная архитектура микроконтроллеров семейства STM32F3

Таблица 1. Основные параметры микроконтроллеров семейства STM32F3xx

Тип микросхемы	Flash, кбайт	RAM, кбайт	Таймеры (IC/OC/PWM)		Другие таймерные функции		АЦП		ЦАП	Компараторы	Операционный усилитель PGA	Емкостные датчики	Линии I/O	Последовательные интерфейсы					Напряжение питания (V <sub>CC</sub> ), В	Потребляемый ток (I <sub>CC</sub> ) (тип.), мкА		Рабочая температура, °С	Тип корпуса				
			16-битный	32-битный	SysTick	WDOG	RTC	12-битный						16-битный	SPI	I <sup>2</sup> C	U(S)ART	USB		CAN	HDMI-CEC			Режим наименьшего потребления	Рабочий режим, МГц		
STM32F302CB/C	128/256	32/40	7	1	1	2	1	9	1	4	2	17	37	3	2	3	1	1	-	2-3,6	1,1	416	-40...+85	LQFP 48			
STM32F302RB/C								16				53	5											LQFP 64			
STM32F302VB/C								17				88	5											LQFP 100			
STM32F303CB/C								15				37	3											LQFP 48			
STM32F303RB/C								22				53	5											LQFP 64			
STM32F303VB/C								39				88	5											LQFP 100			
STM32F313CB/C	128/256	32/40	9	1	1	2	1	15	-	2	7	16	37	3	2	5	-	1	-	1,65-1,95	5,1	399	LQFP 48				
STM32F313RB/C								22				53	-										LQFP 64				
STM32F313VB/C								39				88	-										LQFP 100				
STM32F372C8/B/C	64/128/256	16/24/32	12	2	1	2	1	9	5	1	1	-	14	36	3	2	3	1	1	1	2-3,6	2,3	413	LQFP 48			
STM32F372R8/B/C								16	5			1	17	52										LQFP 64			
STM32F372V8/B/C								12	9			9	24	84										LQFP 100; UFBGA 100			
STM32F373C8/B/C								12	9			8	3	2										14	36	LQFP 48	
STM32F373R8/B/C								12	16			8	3	2										17	52	LQFP 64	
STM32F373V8/B/C								12	16			21	3	2										24	84	LQFP 100; UFBGA 100	
STM32F382C8/B/C	64/128/256	16/24/32	9	2	1	2	1	14	36	-	-	-	-	3	2	3	-	1	-	1,65-1,95	Hд	Hд	LQFP 48				
STM32F382R8/B/C	64/128/256	16/24/32						Hд	Hд														1	1	17	52	LQFP 64; WLCSP 66L
STM32F382V8/B/C	64/128/256	16/24/32						24	84														LQFP 100				
STM32F383C8/B/C	64/128/256	16/24/32	9	2	1	2	1	9	8	-	-	-	-	3	2	3	-	1	-	1,65-1,95	6,1	397	LQFP 48				
STM32F383R8/B/C								16	8														3	2	17	52	LQFP 64; WLCSP 66L
STM32F383V8/B/C								16	21														24	84	LQFP 100		

Примечания: Размер корпусов: LQFP 48 — 7×7×1,4 мм; LQFP 64 — 10×10×1,4 мм; LQFP 100 — 14×14×1,4 мм; UFBGA 100 — 7×7×0,6 мм; WLCSP 66L — 8×8×0,4 мм. Hд — нет данных.

Таблица 2. Основные характеристики микроконтроллеров STM32F3

Характеристики	STM32F302	STM32F303	STM32F372	STM32F373
Ядро	Cortex-MF + FPU	Cortex-MF + FPU	Cortex-MF + FPU	Cortex-MF + FPU
Тактовая частота, МГц	72			
Flash, кбайт	256			
ОЗУ данных, кбайт	32	40	32	32
ОЗУ кода (CCM), кбайт	8			
АЦП последовательного приближения	2×12-битные 5 MSPS	4×12-битные 5 MSPS	1×12-битный 1 MSPS	
ΔΣ-АЦП	-		1×16-битный	3×16-битные
Прочая аналоговая периферия	4 компаратора, 2×PGA, 1×ЦАП	7 компараторов, 4×PGA, 2×ЦАП	1 компаратор, 1×ЦАП	2 компаратора, 3×ЦАП
Расширенный таймер (MC Timer)	2×6-канальных (144 МГц)			
Прочая цифровая периферия (за исключением SPI, UASRT, I <sup>2</sup> C)	1×USB высокоскоростной, 1×CAN, емкостные датчики		1×USB высокоскоростной, 1×CAN, емкостные датчики, шина HDMI-CEC	

(< 4,3×4,3 мм), LQFP48, LQFP64, LQFP100 и UFBGA100. В состав микроконтроллеров входит ряд стандартных периферийных модулей, таких как USART, I<sup>2</sup>C, SPI, различные таймеры, в том числе сторожевые. Основные характеристики микроконтроллеров STM32F3 приведены в таблице 2.

USART имеет аппаратную поддержку ISO-7816, LIN, IrDA и управления модемом.

Судя по данным таблицы 1, семейство STM32F3 логически делится на два подсемейства: STM32F30x и STM32F37x, которые отличаются по составу периферийных модулей и, как следствие, по областям основного применения: микроконтроллеры серии STM32F30x наиболее подходят для решения задач управления, в то время как микроконтроллеры серии STM32F37x — для предварительной обработки сигналов с аналоговых датчиков, цифровой фильтрации и обработки звука.

Разрядность АЦП STM32F30x можно выбирать из диапазона 12/10/8/6 бит. Это может оказаться полезным в случае, когда не требуется максимальное разрешение, а критичным является время преобразования, которое в 6-разрядном режиме уменьшается почти вдвое.

Операционные усилители оптимальны, например, для усиления сигнала с резисторов датчиков тока в истоках силовых ключей модулей управления электродвигателями. Усиление сигнала позволяет использовать резисторы с меньшим номиналом, что способствует снижению рассеиваемой на них мощности и повышению надежности всего устройства.

Расширенные синхронные 16-разрядные таймеры позволяют получить 3-фазный сигнал для управления электродвигателями или многофазный сигнал для управления многоканальным стабилизатором напряжения с ШИМ-управлением.

На рис. 2 показана блок-схема STM32F303 с отмеченными цветом основными блоками и модулями, используемыми для управления электродвигателями и многоканальными импульсными блоками питания.

### Микроконтроллеры STM32F30x

#### Быстродействующий аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

Блок АЦП STM32F30x содержит до четырех независимых преобразователей с производительностью 5 MSPS в 12-разрядном режиме, с возможностью выбора разрешения 12, 10, 8 или 6 разрядов. Некоторые внешние каналы (их количество может достигать 39) являются общими для ADC1 и 2 или ADC3 и 4. Преобразование может выполняться как для одного выбранного канала, так и в режиме сканирования цепочки каналов. В режиме сканирования автоматическое преобразование выполняется для заданной группы аналоговых входов.

Кроме внешних, к АЦП могут быть подключены внутренние источники аналоговых сигналов, перечисленные в таблице 3.

Дополнительные логические функции, встроенные в интерфейс АЦП, позволяют:

- Осуществлять непрерывную выборку и хранение входного сигнала.
- Чередовать выборку и хранение.
- Использовать технологию чтения тока фазы с одного шунта.

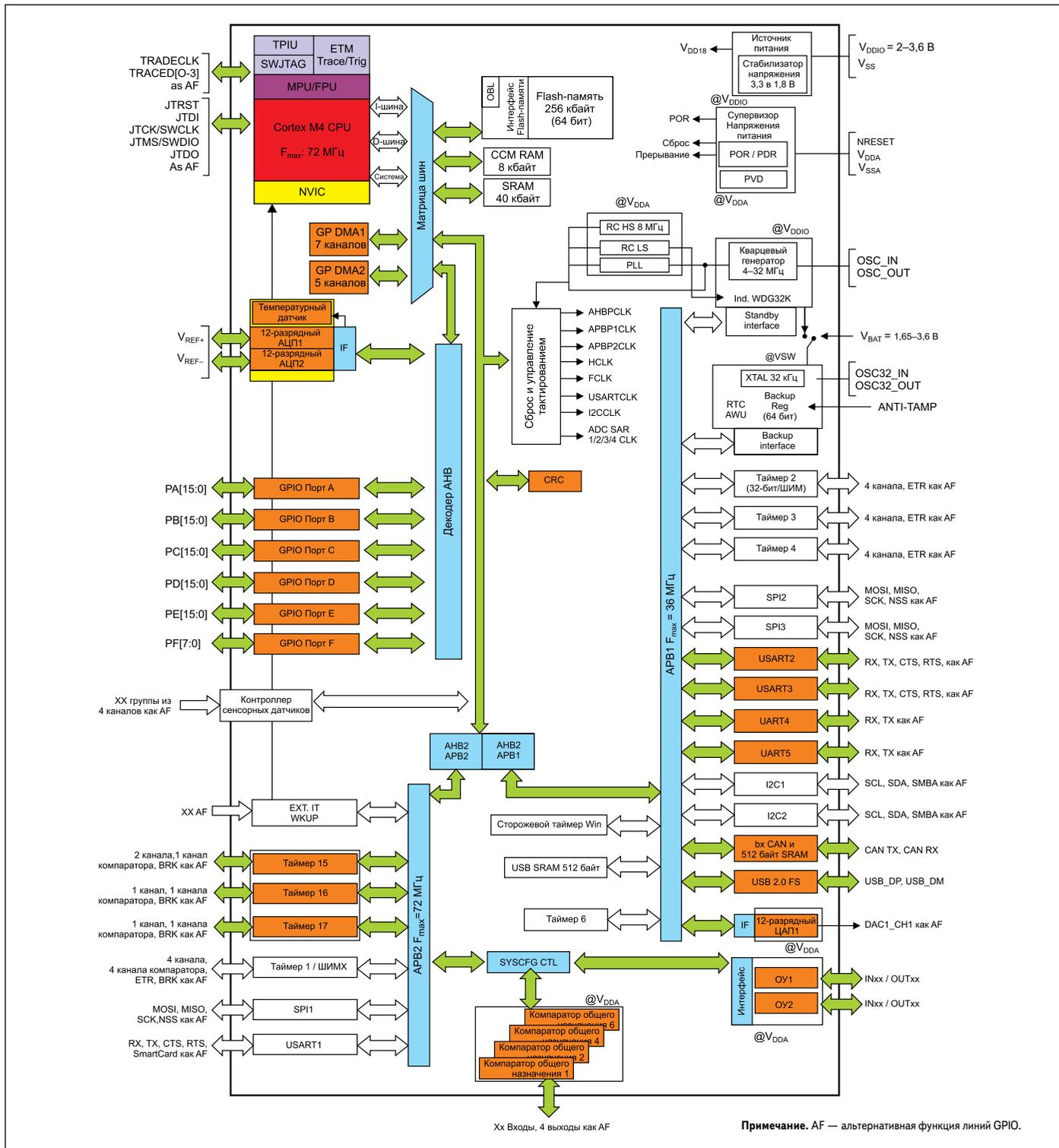


Рис. 2. Блок-схема STM32F303

Таблица 3. Внутренние источники сигналов для АЦП

Внутренний источник	Блок АЦП	Канал АЦП
Температурный датчик	ADC1	16
Напряжение батареи резервного питания $V_{BAT}/2$	ADC1	17
Источник опорного напряжения, $V_{REFINT}$	ADC1, 2, 3, 4	18
Выход ОУ ОРAMP1, $V_{OPAMP1}$	ADC1	15
Выход ОУ ОРAMP2, $V_{OPAMP2}$	ADC2	17
Выход ОУ ОРAMP3, $V_{OPAMP3}$	ADC3	17
Выход ОУ ОРAMP4, $V_{OPAMP4}$	ADC4	17

После завершения преобразования АЦП может запускать контроллер DMA для передачи очередного отсчета в заданную область памяти. С помощью такой процедуры можно автоматически формировать таблицу данных для последующей обработки, например вычисления БПФ или цифровой фильтрации. Процедура обработки будет вызвана после заполнения таблицы, по прерыванию от контроллера DMA.

Функция аналогового сторожевого устройства (analog watchdog) позволяет очень точно отслеживать преобразованное значение напряжения для одного, нескольких или всех выбранных каналов. При выходе значения за пределы порогов генерируется прерывание.

Для синхронизации циклов преобразования АЦП и таймеров события от таймеров общего назначения и таймеров с расширенным управлением (TIM1 для всех микро-

схем и TIM8 для STM32F303xB/C) можно внутренне подключить к схеме запуска АЦП и запуска инъекции соответственно.

Примером применения такой схемы подключения может служить измерение напряжения на датчике тока в момент, когда значение счетчика таймера, работающего в режиме up-down, достигает своего максимума. Такой режим гарантирует измерение тока, например, в обмотке электродвигателя в середине импульса управления.

### Температурный датчик

Температурный датчик (TS) создает напряжение  $V_{SENSE}$ , которое с очень высокой линейностью изменяется при варьировании температуры.

Выход температурного датчика внутренне подключен к входному каналу ADC\_IN16, который используется для преобразования значения напряжения в цифровую форму.

Датчик обладает хорошей линейностью, но для получения высокой точности измерений во всем рабочем диапазоне требует калибровки. Поскольку начальное смещение показаний температурного датчика изменяется от микросхемы к микросхеме, то некалиброванный датчик можно использовать только для приложений, в которых важно отслеживать изменение температуры.

Для повышения точности измерений температурного датчика каждая микросхема индивидуально калибруется при изготовлении. Данные температурной калибровки записываются в область памяти, которая доступна только для чтения.

### Внутренний источник опорного напряжения (ИОН) ( $V_{REFINT}$ )

Внутренний источник опорного напряжения ( $V_{REFINT}$ ) обеспечивает стабильное эталонное напряжение для АЦП и компараторов. Выход  $V_{REFINT}$  внутренне подключен к входному каналу ADC\_IN18. Точность установки  $V_{REFINT}$  для каждой выпускаемой микросхемы индивидуально измеряется в процессе выходного контроля и записывается в специальную область памяти, доступную только для чтения.

### Схема мониторинга напряжения на внешней батарее $V_{BAT}$

Встроенная аппаратная функция позволяет запущенному приложению измерять напряжение  $V_{BAT}$  батареи резервного питания, используя внутреннее подключение к входному каналу ADC\_IN17. Поскольку напряжение  $V_{BAT}$  может превышать напряжение питания аналоговой подсистемы  $V_{DDA}$  и, таким образом, находится за пределами рабочего диапазона измерений АЦП, вывод  $V_{BAT}$  внутри микросхемы подключен к резистивному делителю на 2. В результате преобразованное цифровое значение соответствует половине напряжения батареи  $V_{BAT}$ .

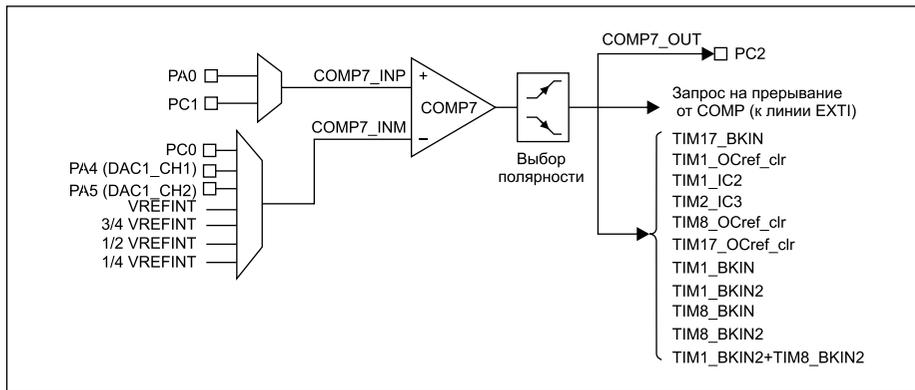


Рис. 3. Блок-схема одного из каналов компаратора

### Источник опорного напряжения для внутренних операционных усилителей (ОУ) ( $V_{OPAMP}$ )

Значение напряжения на выходе ИОН для каждого внутреннего ОУ можно измерить. Соответствующий внутренний канал АЦП:  $V_{OPAMP1}$  подключено к 15-му каналу ADC1,  $V_{OPAMP2}$  — к 17-му каналу ADC2,  $V_{OPAMP3}$  — к 17-му каналу ADC3,  $V_{OPAMP4}$  — к 17-му каналу ADC4.

В качестве источника сигнала для АЦП может служить выход операционного усилителя. Такое решение позволяет повысить точность измерения напряжения, значение которого лежит ниже половины полного диапазона входного сигнала АЦП. Наличие внутренних ОУ позволяет уменьшить общее количество элементов, снизить сложность топологии проводников на печатной плате и уменьшить ее размер. Это, в свою очередь, ведет к уменьшению размера и общей стоимости изделия.

### Операционный усилитель

Микроконтроллеры STM32F30x могут содержать до четырех ОУ с возможностью внутреннего или внешнего подключения и регулировки коэффициента усиления (PGA). При использовании внешних компонентов можно получить функцию активного фильтра с изменяемыми характеристиками. При активации ОУ для измерения его выходного напряжения используется один из внешних каналов АЦП.

Все ОУ имеют полосу пропускания 8,2 МГц, выходной ток до 0,5 мА,  $K_y$ , программируемый в диапазоне 2, 4, 8 или 16, и функцию rail-to-rail по входу/выходу.

Существует ряд задач, например отслеживание предельного значения тока в обмотке электродвигателя, для которых возможности АЦП являются излишними. С решением таких задач справляются компараторы с регулируемым порогом срабатывания.

### Компаратор

В микросхемах STM32F30x имеется семь быстродействующих rail-to-rail компараторов с программируемым опорным напря-

жением (внутренним или внешним), гистерезисом, скоростью отклика и полярностью выходного сигнала. На рис. 3 показана блок-схема одного из каналов компаратора.

В качестве ИОН можно использовать:

- внешнюю линию I/O;
- выходную линию ЦАП;
- напряжение внутреннего ИОН или его часть (1/4, 1/2, 3/4).

Любой из компараторов может выводить микроконтроллер из режима STOP, генерировать прерывания и останавливать работу таймеров. Кроме того, компараторы могут объединяться в пары для выполнения функции оконного компаратора.

Для повышения чувствительности компараторов можно применять операционные усилители. Диаграмма совместного использования ОУ и компараторов приведена на рис. 4.

В современных силовых системах, таких как блоки управления электродвигателями различных типов, контроллеры многоканальных источников питания и преобразователи электростанций на возобновляемых источниках энергии, все большую популярность приобретает технология широтно-импульсной модуляции (ШИМ) благодаря своей простоте и эффективности. Наиболее простой способ получения сигнала с ШИМ — это использование управляемого таймера с компаратором. В многоканальных системах, например для управления асинхронными электродвигателями или преобразователями постоянного тока в трехфазный переменный, применяются синхронные трехканальные таймеры с комплементарными выходами.

### Таймеры и сторожевые таймеры

В состав STM32F30x входит до двух таймеров с расширенным управлением, до шести таймеров общего назначения, два базовых таймера, два сторожевых таймера и системный таймер. В таблице 4 приведено сравнение функциональных возможностей таймеров.

Наибольший интерес для рассматриваемого класса задач представляют таймеры с расширенным управлением.

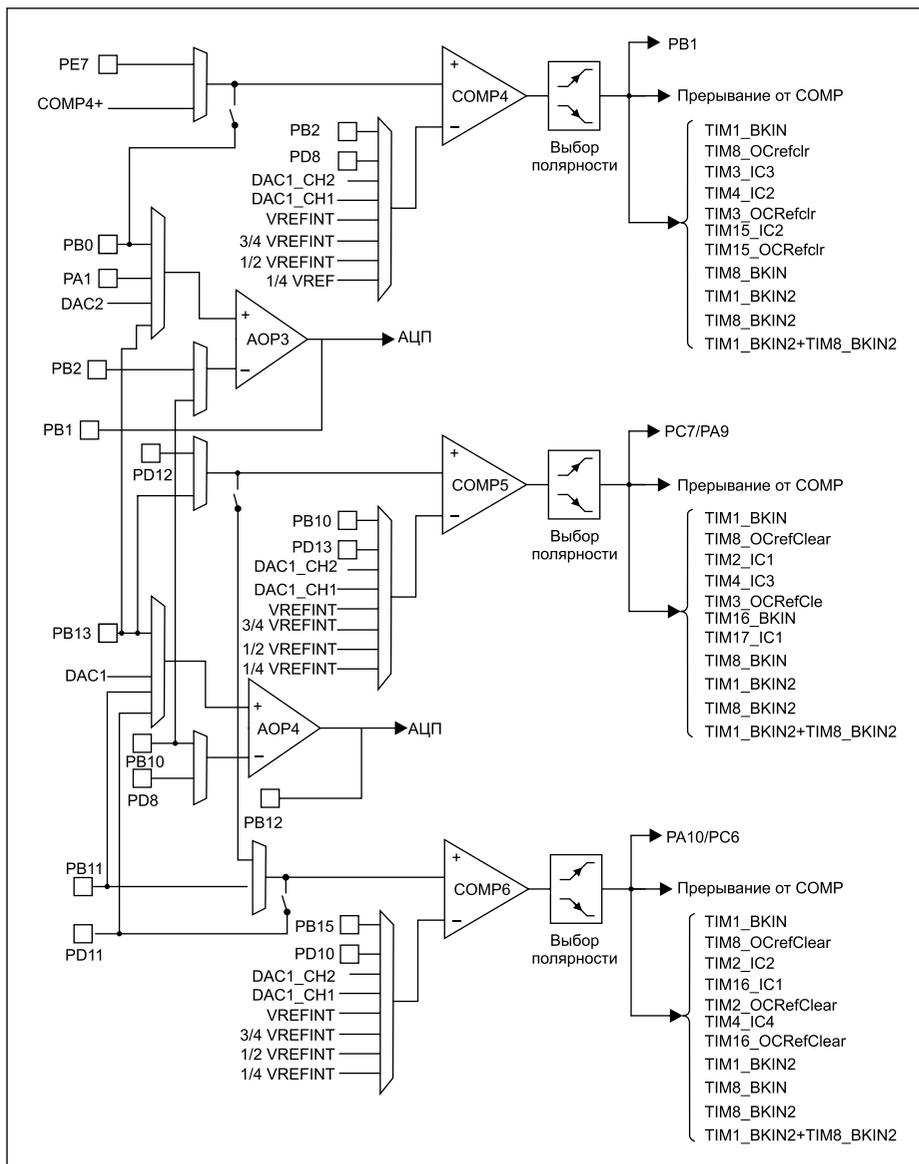


Рис. 4. Диаграмма совместного использования ОУ и компараторов

В режиме отладки счетчик таймера с расширенным управлением можно «заморозить» и отключить выходы ШИМ, чтобы перевести в выключенное состояние любые силовые элементы, подключенные к этим выходам. Блок-схема одного из выходных каналов захвата/сравнения таймера TIM1 показана на рис. 5.

Многие функции таймеров с расширенным управлением похожи на функции TIM таймеров общего назначения, использующих аналогичную архитектуру. Таким образом, для синхронизации или организации цепочки событий возможна совместная работа этих таймеров посредством функции Timer Link.

Безотказность работы микроконтроллера в немалой степени зависит от надежности выполнения программы и отсутствия «зависаний» при ее выполнении. Для предотвращения «зависания» программы служат сторожевые таймеры.

**Микроконтроллеры STM32F3xx**

*Независимый сторожевой таймер*

Независимый сторожевой таймер основан на 12-разрядном вычитающем счетчике и 8-разрядном предварительном делителе. Он тактируется от независимого внутреннего 40-Гц RC-генератора. Поскольку его работа не зависит от основного тактового генератора, то он может работать во всех режимах энергопотребления, в том числе Stop и Standby. Таймер можно использовать как сторожевой для сброса микроконтроллера при возникновении закливвания кода или как обычный таймер для управления интервалами ожидания приложения. Конфигурация осуществляется аппаратным или программным способом посредством байтов настроек. Для предотвращения незапланированных сбросов в режиме отладки таймер можно остановить.

Для синхронизации нескольких устройств и создания временных меток в журнале работы блоков необходимы специальные таймеры, которые называются «часы реального времени» (RTC). Уникальность микросхем STM32 состоит в том, что, кроме регистров хранения времени, их блоки RTC содержат пользовательские регистры, которые при выключении основного источника питания переходят на питание от батарейки или аккумулятора. Кроме того, эти регистры могут иметь функцию быстрой очистки при изме-

**Таймеры с расширенным управлением (TIM1/TIM8)**

Таймеры с расширенным управлением (TIM1 на всех микросхемах и TIM8 на STM32F303xB/C) можно рассматривать как 3-фазные синхронные ШИМ, PWM управляющие тремя парами комплементарных каналов с программируемым «мертвым» временем. «Мертвое» время между спадающим фронтом импульса одного из комплементарных каналов и нарастающим импульсом второго препятствует возникновению сквозных

токов в плечах полумостовых инверторов, которыми, как правило, и управляют комплементарные выходы. Кроме того, их можно использовать как таймеры общего назначения.

Каждый из четырех независимых каналов можно использовать для:

- захвата входного сигнала;
- выхода компаратора;
- генерации ШИМ-сигнала (выровненного по фронту или центру импульса) с полным диапазоном модуляции (0–100%);
- генерации одиночных импульсов.

Таблица 4. Сравнение функциональных возможностей таймеров STM32F30x

Тип таймера	Номер таймера	Разрешение счетчика, бит	Тип счетчика	Предварительный делитель	Генератор DMA-запросов	Каналов захвата/сравнения	Комплементарные выходы
Расширенный	TIM1, TIM8 (только в 303xB/C)	16	Up, Down, Up/Down	Любое целое между 1 и 65 536	Да	4	Да
Общего назначения	TIM2	32	Up, Down, Up/Down		4	Нет	
Общего назначения	TIM3, TIM4	16	Up, Down, Up/Down		4	Нет	
Общего назначения	TIM15	16	Up		2	1	
Общего назначения	TIM16, TIM17	16	Up		1	1	
Базовый	TIM6, TIM7 (только в 303xB/C)	16	Up		0	Нет	

